

**Н.В. Червінська** (асист.), **В.І. Бессараб** (канд.техн.наук, доц.),  
**В.В. Червинський** (канд.техн.наук, доц.)  
Донецький національний технічний університет  
nashenka@mail.ru

## **АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ПОЗАПІКОВИМ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ КОМПЛЕКСУ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ**

Запропоновано варіант синтезу алгоритму управління комплексом шахтного водовідливу на основі теорії дискретно-безперервних систем. Представлено методику синтезу системи автоматичного управління позапіковим електроспоживанням комплексу шахтного водовідливу. Доведена ефективність запропонованої методики синтезу на основі реальних технологічних схем.

**водовідлив, синтез алгоритму управління, дискретно-безперервна система, позапікове електроспоживання**

### ***Загальна постановка проблеми***

У теперішній час глибокі вугільні шахти є крупними споживачами електроенергії, що вимушує їх шукати шляхи для зниження її вартості і регулювання рівномірності навантаження енергосистеми.

У загальному технологічному процесі видобутку вугілля одним з найбільш енергоємних процесів є функціонування водовідливних установок, на які приходить до 25% загального шахтного об'єму вжитку електроенергії. У зв'язку з цим, доцільно застосовувати заходи щодо регулювання режимів роботи цих ланок загального технологічного процесу для зниження електровжитку шахти, регулювання графіка навантаження енергосистеми і зниження вартості споживаної електроенергії.

Істотною особливістю шахтного водовідливу є його незалежний від основної технологічної схеми видобутку графік роботи протягом доби. Це дозволяє використовувати водовідливні установки як споживачі-регулювальники. Особливої важливості цей захід набуває при використанні диференційованих тарифів при оплаті споживаної електроенергії підприємством. Таким чином, одним із заходів для вирішення даної проблеми є зсув робочих режимів водовідливних установок в зони з нижчим тарифом (зони позапікового вжитку електроенергії). Такий режим роботи є вигідним як для енергосистеми, так і для шахти, оскільки вартість відкачки  $1\text{ м}^3$  води значно знижується.

У теперішній час для глибоких шахт Донбасу комплекси водовідведення є складними територіально розподіленими системами, що складаються з декількох вузлів: ділянкових та головних водовідливів. Кожен з вузлів

оснащується системою автоматичного управління, що в тій чи іншій мірі задовольняє вимогам, що висуваються до управління водовідливними установками. Однак такий підхід, по-перше, не враховує взаємозв'язку між окремими вузлами комплексу водовідливу шахти в цілому, і, по-друге, не вирішує проблеми суміщення режимів роботи водовідливу з періодами позапікового енергоспоживання шахти.

### ***Постановка задачі дослідження***

В роботах [1,2] показано, що динаміка поведінки комплексу шахтного водовідливу може бути описана моделлю, розробленою за допомогою апарату Мах-plus алгебри. Доведено, що така модель дозволяє проводити аналіз поведінки системи, а також робить можливим синтез алгоритму управління за визначеними критеріями.

Таким чином, виникає задача синтезу алгоритму управління комплексом водовідливу на основі розробленої моделі, метою якого є задавання такої послідовності вмикання і вимикання установок головного водовідливу, щоб вони не працювали в періоди пікового навантаження на енергосистему.

У даний час існує декілька методів позапікового управління навантаженням [4]. Аналіз застосовуваних у даний час методів управління водовідливом показує, що вони підтверджують свою ефективність для однієї насосної установки або двоступінчастого водовідливу. Таким чином, задача управління багатоступінчастим комплексом шахтного водовідливу в цілому за умов його позапікового електроспоживання на сьогодні не є цілком вирішеною.

В даній роботі розглядається варіант синтезу алгоритму управління комплексом шахтного водовідливу на основі теорії управління дискретно-безперервних систем.

### ***Рішення задач і результати дослідження***

Комплекс шахтного водовідливу з огляду на особливості графіку його функціонування є об'єктом дискретно-безперервного класу, динаміка поведінки якого може бути описана та проаналізована за допомогою апарату Мах-plus алгебри [1,2]. Для вирішення задачі зсуву робочих режимів головних водовідливних установок з періодів пікового навантаження у позапікові періоди необхідно розробити певну методику синтезу алгоритму управління комплексом водовідливу.

У даний час відсутня єдина концепція в розв'язанні наукової проблеми синтезу алгоритмів управління для дискретно-безперервних систем. Існують окремі рішення, які в більшості адаптують відомі методики синтезу для безперервних або класичних дискретних систем під специфіку дискретно-безперервних систем. При цьому дуже часто використовуються аналітичні вирази для відомих критеріїв, які дуже складно інтерпретувати під специфіку

об'єктів. Деякі запропоновані алгоритми управління використовують логічно-евристичні підходи.

Іншим варіантом вирішення задачі може бути розробка методики синтезу алгоритму управління комплексом шахтного водовідливу з використанням теорії дискретно-безперервного управління і апарату Max-Plus алгебри на основі отриманих моделей.

При вирішенні зазначеної проблеми спочатку необхідно проаналізувати можливість адаптації існуючого методу під специфіку розглядуваного дискретно-безперервного об'єкту.

На даний час в системах автоматизації насосних установок шахтного водовідливу застосовують субблоки позапікового споживання електроенергії, що працюють за методом передпікового вмикання [3]. Цей метод передбачає задавання водовідливній установці такого режиму роботи, що на момент початку пікового режиму відповідний водозбірник є порожнім.

Аналіз можливості застосування цього методу на основі розробленої дискретно-безперервної моделі показав його неефективність. На рисунку 1 наведена діаграма Гантта, яка відображає результат використання методу для комбінованої схеми водовідливу [1]. З діаграми видно, що для другого циклу роботи водовідливу робота головних водовідливних установок (S30 та S32) співпадає з періодом вечірнього піку навантаження.

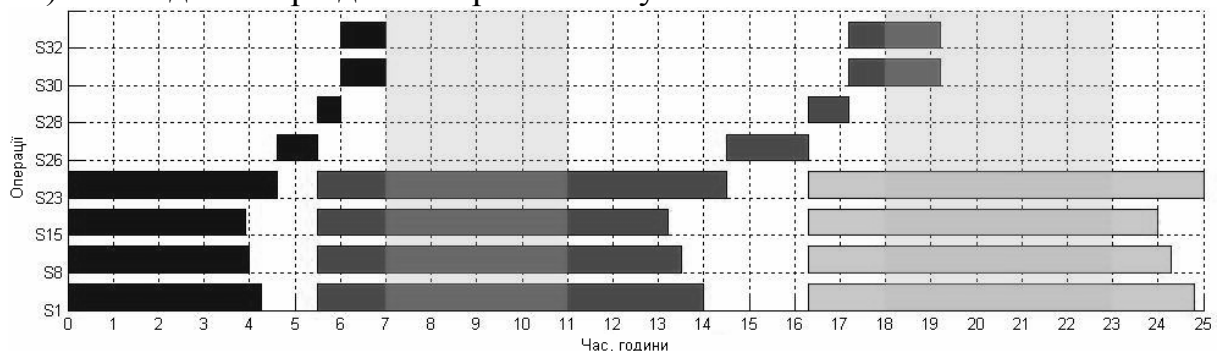


Рисунок 1 – Діаграма Гантта для комплексу водовідливу (управління за методом передпікового вимкнення)

Таким чином, необхідно розглянути варіант синтезу алгоритму управління комплексом водовідливу з використанням теорії дискретно-безперервного управління і апарату Max-Plus алгебри для задоволення вимог позапікового споживання електроенергії головним водовідливом.

Для синтезу алгоритму управління скористаємось Max-Plus алгебраїчними представленнями графів синхронізації технологічних ділянок комплексу водовідливу [1], які шляхом перетворення можуть бути записані у наступному вигляді:

$$x(k+1) = Mx(k) \oplus A_0^* Bu(k+1). \quad (1)$$

Ідея синтезу алгоритму управління в розглядуваному об'єкті полягає в формуванні на кожному кроці такого вектора управління  $u(k)$ , який задає процесу водовідведення бажану поведінку, у даному випадку – зсув робочих режимів водовідливних установок в зони позапікового вжитку

електроенергії, за реальних технологічних обмежень, що накладаються на процес водовідведення.

Для досягнення бажаної поведінки використовуються додаткові логічні умови переключення окремих переходів графів синхронізації технологічних модулів розглядуваного об'єкту, а саме тих переходів, що відповідають моментам вмикання насосних установок.

За допомогою такого підходу управління знаходиться як результат дії зворотного зв'язку, на основі якого через рішення системи рівнянь Max-Plus алгебри можна формувати умови часових точок маркувань.

Структура системи управління комплексом шахтного водовідливу як дискретно-безперервним об'єктом може бути представлена у наступному вигляді (рис. 2).

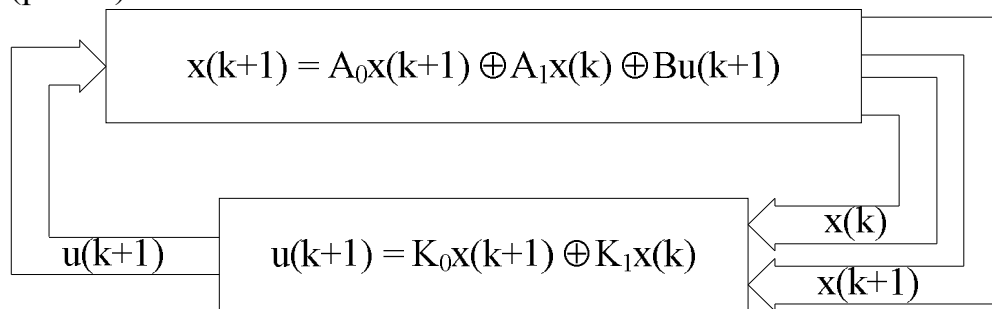


Рисунок 2 – Структура системи управління комплексом шахтного водовідливу

При цьому  $K_0$  і  $K_1$  – позитивно визначені матриці, які формують визначений характер закону управління процесом.

Основна ідея розроблюваного синтезу алгоритму управління комплексом шахтного водовідливу полягає в наступному. Застосування управління завжди надає сповільнення розвитку в часі дискретно-безперервного процесу, який залежить від власного числа матриці динаміки. Таким чином, як вихідний некерований процес може виступати найбільш швидкий варіант, тобто процес із найменшим власним числом. Враховуючі технологічні обмеження, що накладаються на функціонування комплексу водовідливу, таким процесом може виступати визначений режим його роботи, при якому водозбірники спорожнюються після заповнення їх як мінімум на одну третину, і відкачування здійснюється всіма насосами на максимальному напорі. В якості критерію синтезу алгоритму управління комплексом водовідливу може використовуватись оцінка власного числа процесу з керованими переходами.

Оскільки власне число матриці динаміки характеризує тривалість циклу роботи дискретно-безперервної системи, необхідно визначити, для якої величини власного числа матриці динаміки алгоритм синтезу управління комплексом шахтного водовідливу буде відповідати вимогам позапікового управління навантаженням.

Для визначення цієї величини скористаємось графіками навантаження енергосистеми.

На рисунку 3 наведено типові графіки навантаження енергосистеми за добу в зимню (а) і літню (б) пору року.

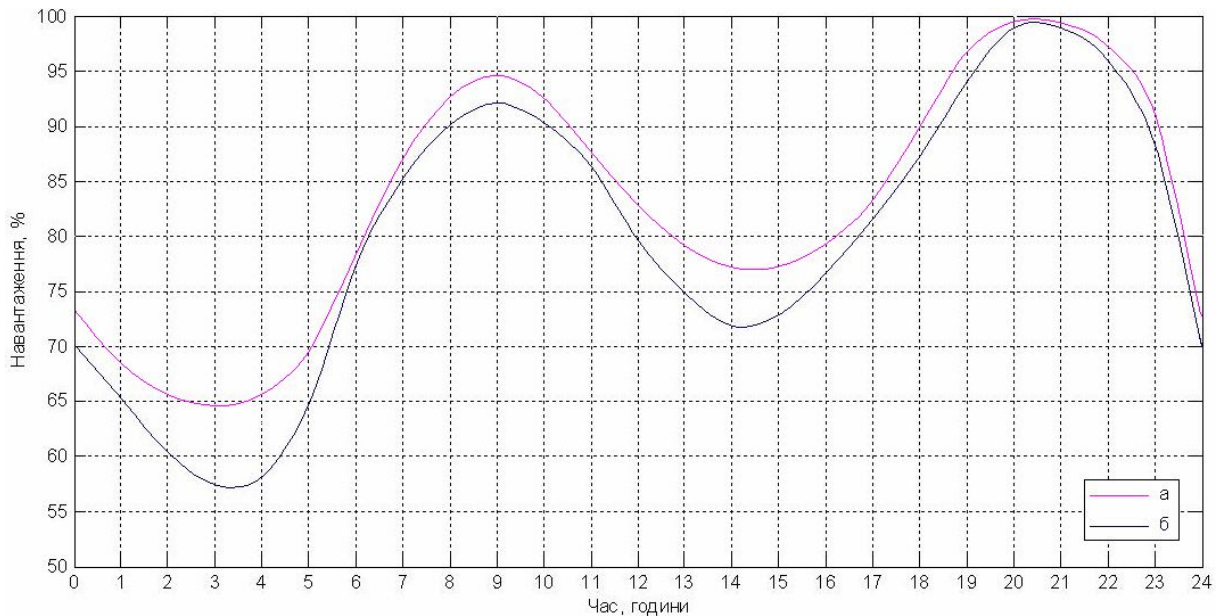


Рисунок 3 – Графіки навантаження енергосистеми

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що інтервали між початками пікових режимів навантаження коливаються від 11 до 13 годин, а у загальному випадку можуть визначатись числом 12. Таким чином, при розробці синтезу алгоритму управління за визначених умов необхідно, щоб власне число матриці динаміки дорівнювало 12.

Задача синтезу алгоритму управління полягає в визначенні матриць  $K_0$  і  $K_1$  з урахуванням заданої послідовності маркувань позиції графа синхронізації. В результаті для керованого процесу маємо наступне рівняння:

$$x(k+1) = (A_0 \oplus BK_0)x(k+1) \oplus (A_1 \oplus BK_1)x(k), \quad (2)$$

яке шляхом заміни  $M_s = (A_0 \oplus BK_0)^* \cdot (A_1 \oplus BK_1)$  може бути записано у наступному вигляді:

$$x(k+1) = M_s x(k). \quad (3)$$

Для того, щоб отримати рішення рівняння (2), а також розрахувати власне число і власний вектор матриці  $M_s$ , граф матриці  $A_0 \oplus BK_0$  має бути вільним від циклів [5].

Також в керованій системі узагальнено мають виконуватись такі логічні умови:

1. Позиції графу синхронізації, що відповідають вмиканню та вимиканню насосних установок головних водовідливів не повинні маркуватись в інтервалі від початку пікового періоду  $T_{пн}$  до кінця пікового періоду  $T_{пк}$ .

2. Тривалість маркування позицій, що відповідають заповненню водозбірників не повинна перевищувати тривалості їх заповнення до верхнього рівня  $\tau_{\max}$ .

3. Власне число матриці динаміки системи  $\lambda$  повинно дорівнювати 12.

Логічні умови 1 і 2 можуть бути реалізовані шляхом внесення їх в матрицю  $K_0$ .

Третя логічна умова виконується через задавання відповідного елемента матриці  $K_1$ .

Ефективність розробленої методики була доведена для різних варіантів технологічних схем водовідливу, у тому числі для комбінованої схеми водовідливу реального гірничого підприємства, моделювання і аналіз якої представлені в [1,2].

Для графа синхронізації цієї схеми вищенаведені умови були реалізовані наступним чином:

1. Позиції  $S_3$   $S_{10}$   $S_{17}$  повинні маркуватись в поточному циклі не пізніше ніж через  $\tau_{\max 1}$ ,  $\tau_{\max 2}$ ,  $\tau_{\max 3}$  відповідно після демаркування позицій  $S_2$ ,  $S_9$ ,  $S_{16}$ . Виконання цієї умови можливо при наступних значеннях елементів матриці  $K_0$ :

$$\begin{aligned}(K_0)_{1,3} &= \tau_{\max 1}(k); \\(K_0)_{2,10} &= \tau_{\max 2}(k); \\(K_0)_{3,17} &= \tau_{\max 3}(k); \end{aligned}$$

2. Позиція  $S_{25}$  повинна маркуватись в поточному циклі не раніше кінця періоду пікового навантаження  $T_{\text{кп}}$ . Виконання цієї умови можливо при наступних значеннях елементів матриці  $K_0$ :

$$(K_0)_{4,25} = (T_{\text{кп}} + t_{\text{отк4}}(k) - t_{\text{вкл4}} - t_{\text{откл4}});$$

3. В наступному  $(k + 1)$  циклі позиція  $S_{33}$  повинна бути маркована через 12 одиниці часу після демаркування позиції  $S_{32}$  в попередньому циклі. Виконання цієї умови можливо при наступних значеннях елементів матриці  $K_1$ :

$$(K_1)_{5,33} = (12 - T_{\text{нп}} - t_{\text{отк5}}(k) - t_{\text{вкл5}} - t_{\text{откл5}});$$

Тоді в цілому матриці зворотного зв'язку  $K_0$  і  $K_1$  мають наступний вигляд:



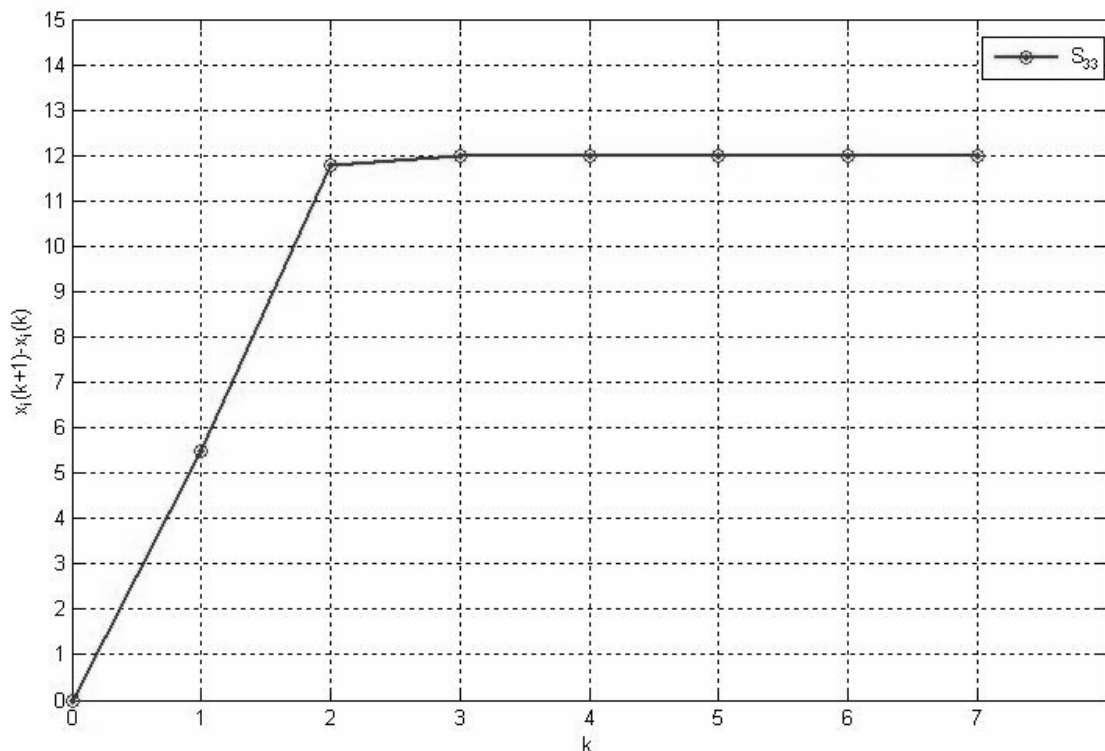


Рисунок 5 – Графік перехідного процесу в дискретно-безперервній системі для позиції  $S_{33}$

Графік перехідного процесу демонструє, що після першого циклу роботи комплексу проміжок між маркуваннями позиції  $S_{33}$  графу синхронізації в поточному та попередньому циклі набуває значення 12, що відповідає власному числу матриці динаміки, і, відповідно, інтервалу між моментами початку пікових періодів навантаження енергосистеми.

### **Висновки**

1. Запропоновано методику синтезу алгоритму управління ділянковими та головним водовідливом з використанням теорії дискретно-безперервного управління й апарату Мах-plus алгебри.
2. Представлена методика синтезу алгоритму автоматичного управління може використовуватись для організації позапікового споживання електроенергії комплексом водовідливу.
3. Ефективність запропонованої методики синтезу алгоритму управління для комплексу водовідливу доведено для комбінованих схем водовідливу реальних вуглеводобувних підприємств.

### **Список літератури**

1. Червинская Н.В. Моделирование процессов динамики комплекса шахтного водоотлива в базисе Мах-Plus алгебры / Н.В. Червинская, В.И. Бессараб, В. В. Червинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2009. - Вип. 16(147). - С. 51-58.



2. Червинская Н. В. Использование аппарата Max-plus алгебры при описании объектов дискретно-непрерывного класса / Н. В. Червинская // Bulletin d'Eurotalent-Fidjip, 2009. – Volume 4. – France, Romilly sur Seine: Editions du Jipto, 2009. – 74 p. – P. 51-56.
3. Данильчук Г.И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок / Г. И. Данильчук, С.П. Шевчук, П.К. Василенко. – К. : Техника, 1981. – 102 с.
4. Энергетический менеджмент / А. В. Праховник, А. И. Соловей, В. В. Прокопенко, А. Е. Конеченков; ред. А. В. Праховник // НТУУ "КПИ"; Ин-т энергосбережения и энергоменеджмента. - К. : ІЕЕ НТУУ "КПІ", 2001. - 470 с.
5. Mossig, K. Algebraischer Steuerungsentwurf für eine Klasse ereignisdiskreter Prozesse mittels der Max-Plus-Algebra [Text] / K. Mossig. – VDI-Fortschrittsberichte, volume 20. – Düsseldorf: VDI Verlag. – 1996. – 137s.

*Надійшла до редакції 25.11.2010*

*Рецензент: д-р техн.наук, проф. Зорі А.А.*

**Н.В. Червинская, В.И. Бессараб, В.В. Червинский**

Донецкий национальный технический университет

**Алгоритм управления внепиковым электропотреблением комплекса шахтного водоотлива.** Предложен вариант синтеза алгоритма управления комплексом шахтного водоотлива на основе теории дискретно-непрерывного управления. Представлена разработанная методика синтеза алгоритма автоматического управления внепиковым электропотреблением комплекса шахтного водоотлива. Доказана эффективность предложенной методики синтеза на основе реальных технологических схем водоотведения.

**водоотлив, синтез алгоритма управления, дискретно-непрерывная система, внепиковое электропотребление**

**N.V. Chervinskaya, V.I. Bessarab, V.V. Chervinskiy**

Donetsk National Technical University

**Off-Pick Energy Consumption Control Algorithm for the Mine Pumping Complex.** The variant of control algorithm synthesis for the mine pumping complex is proposed on the basis of discrete-event control theory. The developed method of automatic control algorithm synthesis for the off-pick energy consumption of the mine pumping complex is presented. The efficiency of the proposed synthesis method is proved on the basis of the real mine pumping manufacturing schemes.

**pumping, control algorithm synthesis, discrete-event system, off-peak energy consumption**